

発明の名称

光導波路型回折格子素子およびその製造方法

関連する出願の対応

本出願は、その全体内容が、引用されて組み込まれた、2001年12月18日出願の米国
5 仮出願出願番号 60/340484 の優先権を主張する。

発明の背景

発明の分野

本発明は、光ファイバ等の光導波路の長手方向の一部に、屈折率の周期的変化等の周
期的変動部（屈折率変調部）を形成した光導波路型フィルタ、回折格子素子及びその製
10 造方法、並びにその光導波路型フィルタ、回折格子素子を使用した光ファイバ増幅器に
関する。

関連する背景技術

光ファイバの一部に比較的長周期の屈折率の周期的変動部を形成した長周期型傾斜型
光ファイバグレーティングは、JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNO
15 LOGY、VOL. 14、NO. 1、58～65頁、A. M. Vengskar他、「L
ong-Period Fiber Gratings as
Band-Rejection Filters」等にて知られている。

また、光ファイバの一部に比較的短周期の周期的変動部をその等位面に対する垂直な
直線を光ファイバの光軸に対して傾斜させて形成した傾斜型光ファイバグレーティング
20 は、ELECTRONICS LETTERS、Vol. 29、No. 2、154～15
6頁、R. Kashyap他、「WIDEBAND GAIN FLATTENED
ERBIUM FIBRE AMPLIFIER USING A
PHOTOSENSITIVE FIBRE BLAZED GRATING」、OPTIC
S LETTERS、Vol. 20、No. 18、1838～1840頁、
25 T. Erdogan他、「Radiation-mode coupling loss i
n tilted fiber phase gratings」等の文献で知られて

いる。

これら長周期型光ファイバグレーティング、傾斜型光ファイバグレーティングは共に光導波路を基にしたもので、波長 $1.5\mu\text{m}$ 帯等の波長選択型ロスフィルタとして機能し、同じ機能を持つエタロン等の光部品と比較すれば、光ファイバ等の光導波路との接続が容易で、挿入損失が少ないという利点を有している。

長周期型光ファイバグレーティングは、感光性ドーパントを有する光ファイバの一部に、数百 μm のマスキング周期を有するマスクプレートを使って紫外線を照射し、光ファイバに数百 μm の周期で屈折率の変動部を形成したものである。

この長周期型光ファイバグレーティングは、光ファイバ上に被覆層を設けると波長選択型ロスフィルタとしての機能が現に必須のクラッド全体に形成される漏洩モードが変化・消失し、遮断スペクトルが変化するため、被覆層を設けることが困難である。ところが被覆層を設けないと光ファイバを傷つけて破断させる危険性が大きく取り扱いが容易ではない。また、長周期型光ファイバグレーティングは、遮断中心波長がコア・クラッドの屈折率差に大きく左右され、コア・クラッドの屈折率差は温度によって大きく変化するため、温度が変化すると遮断中心波長が変化するという現象が起こる。

一方、傾斜型光ファイバグレーティングは、このような長周期型光ファイバグレーティングの欠点を有してはいないので、波長選択型ロスフィルタとしてはより好ましい形態とされている。

図1A、1B及び1Cは、傾斜型光ファイバグレーティング（以下「傾斜型FG」という。）の一例を示す図であって、図1Aはその縦断面図、図1Bはその横断面図、図1Cはその斜視図である。図1A、1B及び1Cにおいて、1は光ファイバ、2はコア、3はクラッド、4は屈折率の周期的変動部、Aは周期的変動部中の光軸上の任意の点Oを通る直線であってかつ前記任意の点を通る等位面Lに対して垂直な直線、Xは光軸、Yは偏角方向、Lは等位面、Mは周期的変動部中の光軸上の任意の点Oを通る直線であってかつ前記任意の点を通る等位面Lに対して垂直な直線Aと光軸Xとがなす平面であって偏角面とも言う、Oは任意の点、 θ は傾斜角である。

この傾斜型FGは、コア2とクラッド3からなる光ファイバ1の長手方向の一部に屈折率が周期的に変化した部分、即ち周期的変動部4を形成したものであって、周期的変動部4における屈折率が等位なる平面、即ち等位面Lは光ファイバ1の光軸Xに対して垂直な平面から傾いている。また、傾斜型FGの周期的変動部中の任意の点Oを通る等

5 位面Lに対して垂直な直線Aは光軸Xに対して傾きをもっており、直線Aと光軸Xとのなす角は傾斜角 θ である。

また、偏角面Mの平面内において、点Oを通り光軸Xに対して直角な方向を、偏角方向Yとする。従って、光軸X、直線A、偏角方向Yは、全て偏角面Mの平面内にある。

従来から知られている傾斜型FGにおいては、周期的変動部4の中で任意の点Oの位置が変わっても、等位面Lは全て平行である。従って、周期的変動部4の任意の点Oの位置が変わっても、偏角面Mは同じ一平面であり、偏角方向Yは常に平行で一方向を向いている。

10

また、このような傾斜型FGは、次のようにして製造される。図2A及び2Bは、製造方法の主要部を示す図であって、図2Aはその斜視図、図2Bはその横側面図である。図2A及び2Bにおいて、5は位相格子、6は格子面、7はエキシマレーザ、8は紫外線である。コア2にゲルマニウム等の感光性ドーパントを含んだ光ファイバ1を、通常1 μ m程度のピッチで数千本~数万本の溝状凹凸からなる格子面6を形成した位相格子5と平行に配置して、エキシマレーザ7を使って紫外線8を位相格子5を通して光ファイバ1に照射する。そうすると、位相格子5の格子面6によって、紫外線8の干渉縞が生じ、その干渉縞が光ファイバ1に照射される。また、紫外線光源としてはエキシマレーザ以外にアルゴンレーザを使うこともある。

15

20

光ファイバ1のコア2は紫外線の強弱に応じて屈折率が変化するので、紫外線の干渉縞によって、光ファイバ1には屈折率の周期的変動部4が形成される。また、格子面6の溝方向を光ファイバ1の光軸に直角な方向に合わせておけば、周期的変動部4の等位面に対して光軸が垂直な通常の光ファイバグレーティングが得られ、光ファイバ1の光軸Xに直角な方向に対して、格子面6の溝方向を5度程度傾けておけば、周期的変動部

25

4の等位面に対する垂直な直線が光軸に対して傾いた、所謂傾斜型FGが得られる。

傾斜型FGを波長選択型ロスフィルタとして使用する場合、先に説明したように長周期光ファイバグレーティングに比較して温度変化に対する遮断中心波長の変動が少なく、また光ファイバ上に被覆層を設けることが出来るため、取り扱いが容易という利点がある。

しかし、この従来技術による傾斜型FGの周期的変動部は、偏角方向が常に一定の方向を向いており、偏角方向の偏波と偏角方向に対して垂直方向の偏波に対する遮断特性は異なっているため、傾斜型FGとしての遮断特性は偏波依存性を有する。そして、この偏波依存性は傾斜型FGを光ファイバ増幅器等に使用したとき、利得が信号光の偏波状態によって変わるという問題をもたらすことがある。

発明の概要

本発明は、偏波依存性を少なくした傾斜型FGを使った光導波路型フィルタ、回折格子素子及びその製造方法、並びにその光導波路型フィルタ、回折格子素子を使用した光ファイバ増幅器を提供するものである。

本発明の光導波路型フィルタは、光導波路の長手方向の一部に屈折率の周期的変化等の周期的変動部を設け、該周期的変動部の等位面に対する垂直な直線が前記光導波路の光軸に対して傾きをもつようにする。そして、該光導波路を捻回を与えずに直線状にしたとき、周期的変動部中の光軸上の任意の点を通る直線であってかつ前記任意の点を通る等位面に対して垂直な直線と前記光軸とがなす平面即ち偏角面が、光導波路の前記任意の点の長手方向の位置によって同一平面でない部分を含むようにし、光導波路の長手方向に偏角方向を変えた部分を作る。このようにすることによって、偏角方向の偏波と偏角方向に対して垂直方向の偏波とに対する遮断特性の差を光導波路の長手方向に打ち消し合うようにして、遮断特性の偏波依存性を小さくする。

光導波路の長手方向の位置によって偏角方向を変える方法としては、まず光導波路の長手方向に偏角方向が変化しない傾斜型FGを作って、それを光導波路の光軸周りに捻回させることによって、光導波路の長手方向に偏角方向を変える方法と、まず光導波路

の部を光軸周りに捻回させて、その捻回部分に偏角方向が変化しない傾斜型FGを形成し、その後捻回を元に戻して偏角方向を光導波路の長手方向に変化させる方法がある。

また、光導波路の長手方向に偏角方向の変化しない傾斜型FGを複数個作って、それらを互いに偏角方向が異なるように光軸周りに回転角を変えて回転させて、それらを互いに融着接続して1本の光導波路とすることによって、長手方向に偏角方向が変化した光導波路型フィルタを形成することが出来る。

更に、光導波路の長手方向に一部に偏角方向の変化しない周期的変動部を形成し、そこから長手方向に離れた箇所において、光導波路を光軸周りに回転させて前の周期的変動部の偏角方向とは異なる偏角方向を有する周期的変動部を形成し、このような操作を複数回繰り返すことによって、光導波路の長手方向に互いに偏角方向の異なる周期的変動部を複数箇所形成することで、長手方向に偏角方向が変化した光導波路型フィルタを形成することも出来る。

また、以上のようにして形成した本発明にかかる光導波路型フィルタを少なくともエルビウムドープ光ファイバと励起レーザ光源とを有する光ファイバ増幅器の回路中に挿入することによって、利得等化器として作用させ、大きな波長幅で増幅スペクトル特性を平坦化することが出来る。

更に、本発明に係る光導波路型回折格子素子では、(1) 光導波路の長手方向に沿ってN（Nは2以上の整数）個の屈折率変調部が形成されており、(2) N個の屈折率変調部それぞれの屈折率等位面に垂直な直線が光導波路の光軸と平行でなく、(3) N個の屈折率変調部それぞれの屈折率等位面に垂直な直線と光導波路の光軸とがなす偏角面が互いに一致しておらず、(4) N個の屈折率変調部のうちの何れか2つの屈折率変調部それぞれの形成領域が互いに少なくとも一部が重なっていることを特徴とする。

また、本発明に係る光導波路型回折格子素子製造方法は、(1) 光導波路の長手方向に沿ってN（Nは2以上の整数）個の屈折率変調部を、屈折率等位面に垂直な直線が光導波路の光軸と平行とならないようにして順次に形成するとともに、

(2) 第 n (n は2以上 N 以下の整数) 番目の屈折率変調部を形成する際に、屈折率等位面に垂直な直線と光導波路の光軸とがなす偏角面が、既に形成した第1番目～第 $(n-1)$ 番目の屈折率変調部それぞれの偏角面の何れとも一致しないようにし、(3) N 個の屈折率変調部のうちの何れか2つの屈折率変調部それぞれの形成領域が互いに少なくとも一部が重なるようにして、光導波路型回折格子素子を製造することを特徴とする。

本発明に係る光導波路型回折格子素子、および、本発明に係る光導波路型回折格子素子製造方法により製造される光導波路型回折格子素子は、 N 個の屈折率変調部が形成されていて、各屈折率変調部の屈折率等位面に垂直な直線が光導波路の光軸と平行でなく、各屈折率変調部の偏角面が互いに一致しておらず、何れか2つの屈折率変調部それぞれの形成領域が互いに少なくとも一部が重なっている。このように構成されることで、光導波路型回折格子素子は、短尺であって、偏波依存損失が低減されたものとなる。

また、本発明に係る光導波路型回折格子素子は、 N 個の屈折率変調部それぞれの偏角面が光導波路の光軸の回りに $180^\circ/N$ ずつずれていることを特徴とする。本発明に係る光導波路型回折格子素子製造方法は、 N 個の屈折率変調部それぞれの偏角面を光導波路の光軸の回りに $180^\circ/N$ ずつずらして、光導波路型回折格子素子を製造することを特徴とする。この場合には、光導波路型回折格子素子は、偏波依存損失が効率よく低減されたものとなる。

また、本発明に係る光導波路型回折格子素子では、 N 個の屈折率変調部それぞれは、屈折率等位面に垂直な直線と光導波路の光軸とがなす角度が互いに同一であり、光導波路の長手方向に沿った形成領域の長さが互いに同一であり、屈折率変調周期が互いに同一であり、屈折率変調振幅が互いに同一であることを特徴とする。本発明に係る光導波路型回折格子素子製造方法は、 N 個の屈折率変調部それぞれを形成する際に、屈折率等位面に垂直な直線と光導波路の光軸とがなす角度を互いに同一にし、光導波路の長手方向に沿った形成領域の長さを互いに同一

し、屈折率変調周期を互いに同一にし、屈折率変調振幅を互いに同一にすることを特徴とする。この場合にも、光導波路型回折格子素子は、偏波依存損失が効率よく低減されたものとなる。

5 また、本発明に係る光導波路型回折格子素子は、透過損失が最大となる波長において偏波依存損失が透過損失最大値の $1/10$ 以下であることを特徴とする。この場合には、光導波路型回折格子素子は、光通信の分野で偏波依存損失が小さいことが要求される光学装置（またはその一部）として好適に用いられる。

10 また、本発明に係る光導波路型回折格子素子製造方法は、透過損失をモニタしながら N 個の屈折率変調部それぞれを形成することを特徴とする。或いは、偏波依存損失をモニタしながら N 個の屈折率変調部それぞれを形成することを特徴とする。この場合には、製造される光導波路型回折格子素子は、偏波依存損失が効率よく低減されたものとなる。

図面の簡単な説明

15 図 1 A、1 B 及び 1 C は、従来技術による傾斜型光ファイバグレーティングの一例を示し、それぞれ、その縦断面図、その横断面図及びその斜視図である。

図 2 A 及び 2 B は、傾斜型光ファイバグレーティング（傾斜型 FG）の製造方法の主要部を示し、それぞれ、その斜視図及びその横側面図である。

図 3 A 及び 3 B は、本発明の光導波路型フィルタの第 1 の実施例を示す図であって、それぞれ、その縦断面図及びその P、Q、R、S の各位置における横断面図である。

20 図 4 A 及び 4 B は、本発明にかかる第 1 の実施例の光導波路型フィルタ製造時の捻回の状態を示す図であって、それぞれ、その縦断面図及びその各箇所における横断面図である。

図 5 は、図 4 A 及び 4 B に示す方法で製造した光導波路型フィルタの固定方法を示す縦断面図である。

25 図 6 A 及び 6 B は、本発明の光導波路型フィルタの第 2 の実施例を示す図であって、それぞれ、その縦断面図及びその光ファイバの長手方向の各位置での横断面図である。

図7A及び7Bは、本発明の光導波路型フィルタの更に別の第3の実施例を示す図であって、それぞれ、縦断面図及びその光ファイバの長手方向の各位置での横断面図である。

図8は、本発明の光導波路型フィルタを用いた光ファイバ増幅器の例を示す図である。

5 図9は、本発明の実験例1及び比較例の特性を示すグラフである。

図10A及び10Bは、実験例5にしめす本発明の光導波路型フィルタを示す図であって、それぞれ、その縦断面図及びそれぞれの光ファイバの周期的変動部の横断面図である。

図11は、図10に示す光導波路型フィルタの特性を示すグラフである。

10 図12A及び12Bは、実験例6に示す本発明にかかる4箇所を有する光導波路型フィルタを示す図であって、それぞれ、その縦断面図及び各周期的変動部における横断面図である。

図13は、図12A及び12Bにかかる光導波路型フィルタの特性と、それを用いた光ファイバ増幅器における利得相対値をそれぞれ示すグラフである。

15 図14は、本発明に係る第4の実施例である光導波路型回折格子素子（傾斜型回折格子素子）の説明図である。

図15は、図14に示す本発明に係る第4実施例の光導波路型回折格子素子製造方法を説明するための斜視図である。

20 図16A、16B、16C及び16Dは、図15に示す本発明に係る光導波路型回折格子素子製造方法を説明するための断面図である。

図17A及び17Bは、第4の実施例の光導波路型回折格子素子（傾斜型回折格子素子）の透過特性を示す図であって、それぞれ、第1番目の屈折率変調部の形成終了時点での透過特性を示す図及び第2番目の屈折率変調部の形成終了時点での透過特性を示す図である。

25 図18A及び18Bは、第4の実施例の光導波路型回折格子素子（傾斜型回折格子素子）の透過特性および偏波依存損失特性をそれぞれ示す図である。

図19A及び19Bは、本発明に従う第4の実施例で、更に、第3番目、第4番目の屈折率変調部を形成後の透過特性及び偏波依存損失特性を示す図である。

図20は、第5の実施例に係る光導波路型回折格子素子（傾斜型回折格子素子）200の説明図である。

5 図21A及び21Bは、1方向のみから屈折率変化誘起光が照射されて1つの屈折率変調部が形成された傾斜型回折格子素子についての特性を示す図である。

図22A及び22Bは、互いに90度だけ異なる2方向から屈折率変化誘起光が照射されて2つの屈折率変調部が形成された傾斜型回折格子素子の特性について示す図である

10 図23A及び23Bは、互いに90度ずつ異なる4方向から屈折率変化誘起光が照射されて4つの屈折率変調部が形成された傾斜型回折格子素子の特性について示す。

好適な実施例の説明

以下、添付図面を参照して、本発明の実施例を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には、同一符号を付して、重複する説明は省略してある。

15 図3A及び3Bは、本発明に従う光導波路型フィルタの第1の実施例を示す図であって、図3Aは縦断面図、図3BはP、Q、R、Sの各位置における各横断面図である。
1は光ファイバ、2はコア、3はクラッド、4は周期的変動部、Aは周期的変動部中の光軸上の任意の点Oを通りかつ前記任意の点を通る等位面Lに対して垂直な直線、Lは等位面、Mは周期的変動部中の光軸上の任意の点Oを通る直線であってかつ前記任意の点を通る等位面Lに対して垂直な直線Aと光軸Xとがなす平面であって偏角面とも言う、Oは周期的変動部中の光軸上の任意の点、Xは光軸、Yは偏角方向である。

20 この光導波路型フィルタにおいては、周期的変動部（屈折率変調部）4における偏角面Mの傾きは光ファイバ1の長手方向の位置によって変化しており、偏角方向Yは光ファイバ1の長手方向に光軸Xの周りに回転している。従って、偏角方向Yによって形成される包絡面は螺旋状の曲面となっている。この光導波路型フィルタの場合、偏角方向Yの光軸周りの変化角は周期的変動部の両端間で最も大きくなる。この偏角方向Yの変

化角の最大角は90度とすることが、偏波依存性を小さくする上で最も好ましいが、45度以上とし、出来るだけ60度以上としても十分な効果を得ることが可能である。

また、図3A及び3Bに示す光導波路型フィルタは、図2A及び2Bに示す製造装置を利用して製造することが可能である。図2A及び2Bにおいて、光ファイバ1を光軸周りに捻回させて配置し、その光ファイバ1に屈折率の周期的変動部4を傾斜させて形成する。その状態では、周期的変動部の偏角方向は光ファイバの長手方向の位置が変わっても常に一方向を向いており、偏角面も一平面上にある。周期的変動部を形成した後、光ファイバ1の光軸周りの捻回を開放して捻回のない状態に戻す。そうすると、周期的変動部の偏角方向は、光ファイバの長手方向には光軸周りに回転した状態になり、偏角面も一平面上にある状態ではなくなり平面が長手方向に回転した状態になり、図3に示す光導波路型フィルタが形成される。

また、図2A及び2Bに示す方法で製造した傾斜型FGを使って、それを光ファイバの光軸周りに捻回させてスリーブ等の固定部材で捻回が元に戻らないように固定することによって、図3に示す本発明の光導波路型フィルタと同様の機能を備えたものを形成することも可能である。

図4A及び4Bは、その捻回の状態を示す図であって、図4Aは縦断面図、図4Bは各箇所における横断面図である。図4Aに示すように光軸周りの捻回によって、光ファイバ1の長手方向の位置によって偏角方向Yは変化する。なお、図5はこの方法で製造した光導波路型フィルタの固定方法を示す縦断面図である。図5の光導波路型フィルタでは、捻回させた光ファイバ1の周期的変動部4を形成した部分を固定部材9の空洞中に収容し、固定部材の貫通箇所9a、9bにおいて接着剤等で固定部材9に固定し、光ファイバ1の捻回が戻らないようにする。また、固定部材9の空洞は樹脂等で充填することもある。

また、光ファイバの捻回に当たって、光ファイバの偏波依存損失をモニターしながら捻回を行い、偏波依存損失が最小となったところで、光ファイバの捻回が戻らないように固定することで、より確実に偏波依存損失の小さい光導波路フィルタを製造すること

端面を突き合せて突き合せ部 10 a、10 b を融着接続する。この光導波路型フィルタの場合、図 7 A 及び 7 B では 3 本の光ファイバを融着接続するものを示したが、光ファイバの数を N とし、それぞれの周期的変動部の偏角方向を $90^\circ / (N - 1)$ ずつずらすことによって、偏波依存性の少ない光導波路型フィルタを構成することが出来る。また、 N 本の光ファイバを配列する場合、偏角方向の配列順序は特に指定する必要はない。

図 8 は、本発明に従う光導波路型フィルタを用いた光ファイバ増幅器の例を示す図であって、11 はエルビウムドープ光ファイバ、12 は励起レーザ光源、13 はカブラ、14 はアイソレータ、15 は光導波路型フィルタである。この光ファイバ増幅器では、一段の光ファイバ増幅器の出力側に光導波路フィルタ 15 を挿入して利得等化器として機能させているが、多段の光ファイバ増幅器の途中に光導波路型フィルタを挿入することも可能であるし、また、エルビウムドープ光ファイバとカブラとの間の励起光が流れる箇所に光導波路型フィルタを挿入し、不用の励起光を除去することも可能である。

以上、本発明の光導波路型フィルタとして、コアとクラッドからなる光ファイバに屈折率を周期的に変化させ周期的変動部を形成したものについて説明したが、光ファイバの周期的変動部は屈折率の周期的変化には限らず、コアの周期的外径変動等によっても波長選択型ロスフィルタとして機能させることが出来る。また、光ファイバの上には適当な被覆を設けて保護することも可能である。更に光ファイバ以外の平面導波路等の光導波路の場合でも、コアに周期的変動部を形成し、偏角方向を変えることによって本発明の適用が可能である。

ここで、本発明に従った光導波路型フィルタを実際に製作し、その効果を確認した。

「実験例 1」及び「比較例」：比屈折率差 0.35%、コア径 $8\mu\text{m}$ 、クラッド径 $125\mu\text{m}$ 、コア材質 $\text{GeO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ 、クラッド材質 SiO_2 のステップインデックス型光ファイバを使って、室温にて 200 気圧の水素雰囲気下で 2 週間の前処理を行って光ファイバを準備し、その光ファイバに位相格子を介してエキシマレーザから波長 248nm の紫外線を照射した。位相格子は格子ピッチ $1.073 \sim 1.075\mu\text{m}$ で 5mm 長のもを使用し、位相格子の溝方向を光ファイバの光軸に対して直角方向から 5° 傾け

てセットし、伝送波長の遮断量が3 dBとなる時点で紫外線の照射を停止した。

そして製作した光ファイバそのままのもの、即ち捻回を与えないもの（これを比較例とする）と、光ファイバに30 mm当たり1回転の捻回を与えて捻回が戻らないように固定部材に固定したもの（これを実験例1とする）を作り、それぞれ偏波依存損失（以下「PDL」と略称する。）、遮断量を測定した。その結果は図9に示す通りである。遮断量は両者共に同じであるが、PDLは比較例の場合は破線で示す値となり、実験例1の場合は実線で示す値となった。この結果から捻回を与えない比較例のものはPDLの最大値が0.25 dBであるのに対し、捻回を与えた本発明にかかる実験例1のものはPDLの最大値が0.06 dBで大きく改善されていることが確認出来た。

「実験例2」：上記実験例1の照射前の光ファイバと同じ光ファイバを用い、光ファイバを30 mm当たり1回転の割合で捻回させて位相格子と平行に配置し、位相格子を介して紫外線を照射した。位相格子及びエキシマレーザは実施例1と同じものを使用した。紫外線の照射は遮断量3 dBの時点で停止した。そして照射後、光ファイバの捻回を元に戻した。その光導波路型フィルタについて、遮断量、PDLを測定したところ、遮断量は3 dB、PDL最大値は0.05 dBで、この場合も従来技術による前記の比較例のものに比較してPDLが大きく改善されていることが確認出来た。

「実験例3」：上記実験例1の照射前の光ファイバと同じ光ファイバを用い、上記実験例1と同じ方法で位相格子を介して紫外線を照射した。そして、遮断量が1.5 dBとなったところで一旦紫外線の照射を停止し、光ファイバの照射位置を15 mmずらせて、光ファイバを光軸周りに90度回転させ、再び紫外線を照射し、遮断量が3 dBとなった時点で紫外線照射を停止した。この光導波路型フィルタについて、遮断量、PDLを測定したところ、遮断量は3 dB、PDL最大値は0.01 dBで、上記比較例と比較してPDLが大きく改善されており、実験例1、実験例2よりもPDLを低くすることが出来ることが確認出来た。

「実験例4」：上記実験例1の照射後の光ファイバと同じ光ファイバを2本準備し、一方を光軸周りに回転させて偏角方向を互いに光軸周りに90度ずらせて配置し、突き合

せ部にて融着接続を行なった。この光導波路型フィルタについて、遮断量とPDLを測定した結果、遮断量は6 dB、PDL最大値は0.1 dBで、この場合も上記比較例のものと比較してPDLが1/2以下に改善されていることが確認出来た。

「実験例5」: 上記実験例1の照射前の光ファイバと同じ光ファイバを2本準備し、それぞれ位相格子を変えて紫外線照射を行なった。位相格子は格子ピッチ1.073~1.075 μm で5 mm長のもので、格子ピッチ1.077~1.079 μm で5 mm長ものを準備し、それぞれの光ファイバに使用した。なお、位相格子の傾きは両者共5度とした。また、それぞれ遮断量が3 dBとなった時点で紫外線の照射を停止した。また、エキシマレーザは上記実験例1とおなじものを使用した。出来上がった2本の光ファイバの一方を光軸周りに回転させて偏角方向を互いに90度ずらせて配置し、突き合せ部にて融着接続を行なった。

図10A及び10Bはその光導波路型フィルタを示す図であって、図10Aはその縦断面図、図10Bはそれぞれの光ファイバの周期的変動部16a、16bの横断面図である。周期的変動部16a、16bはそれぞれの位相格子を介して紫外線を照射した部分であり、その偏角方向Yは光軸周りに互いに90度ずれている。また、17は融着接続された突き合せ部である。また、図9はその光導波路型フィルタの遮断量とPDLの結果を示すグラフであって、遮断量は5.2 dB、PDL最大値は0.11 dBであった。実験例4と比較すると、位相格子の格子ピッチを変えたものであっても、遮断量は少し減るが、PDLは殆ど変わらないことが分かる。

「実験例6」: 上記実験例1の照射前の光ファイバと同じ光ファイバを用い、その光ファイバの長手方向の4箇所それぞれ位相格子を介して紫外線を照射してそれぞれ周期的変動部を形成した。最初の2箇所は、格子ピッチ1.064~1.068 μm 、長さ5 mmの位相格子を用い、その位相格子を5度傾けてそれを介して光ファイバに紫外線を照射した。1箇所目において遮断量3 dBで紫外線照射を一旦行い、次に10 mm光ファイバをずらせた2箇所目において光ファイバを光軸周りに90度回転させて紫外線を照射し、遮断量が6 dBになったところで紫外線照射を停止した。

その後更に光ファイバを10mmずらして3箇所目において、位相格子を格子ピッチ1.080~1.084 μ m、長さ5mmのものに変更して、位相格子を5度傾けてその位相格子を介して紫外線照射を行なった。3箇所目の紫外線照射は遮断量0.7dBで停止し、更に光ファイバを10mmずらして、かつ光ファイバを光軸周りに90度回転させ、同じ位相格子を使って遮断量が1.4dBになるまで紫外線照射を行なった。なお、エキシマレーザは上記実験例1で使用了したものと同じとした。

図12A及び12Bは、上記によって製作した光導波路型フィルタを示す図であって、図12Aはその縦断面図、図12Bは各周期的変動部における横断面図である。なお、18a、18b、18c、18dはそれぞれ1~4箇所目の周期的変動部を示す。

このようにして出来た4箇所に周期的変動部を有する光導波路型フィルタの特性を測定したところ、図13に示す通り、遮断量は1530nm付近に6dBのピークを持ち、1555nm付近に1.4dBのピークを持つもので、PDL最大値は0.01dBであった。

また、上記実施例では、紫外線照射方向を限定して説明しているが、照射方向は、全方向のいずれでも可能である。

また、実験例6の光導波路フィルタを使って図8に示す光ファイバ増幅器を構成した。また、励起レーザ光源は波長1.48 μ mのものを用了。図13は光導波路型フィルタの特性と、光ファイバ増幅器における光導波路型フィルタの前後における利得相対値を示すグラフであって、利得相対値の破線は光導波路フィルタ挿入前の値を、実線は光導波路フィルタ挿入後の値を示す。実線の値から分かるように、本発明の光導波路型フィルタの挿入によって、20nm以上の波長帯域で利得スペクトルを平坦化することが出来る。

本発明に従う上記光導波路型フィルタは、周期的変動部に光軸に対する傾きをもたせ、かつ光軸と前記等位面に対する垂直な直線とがなす平面即ち偏角面が光導波路の長手方向の位置によって同一平面でない部分を有せしめることによって、偏角方向の偏波と偏角方向に対して垂直方向の偏波とに対する遮断特性の差を光導波路の長手方向に打ち消

し合うようにしたものであって、遮断特性の偏波依存性の小さい波長選択型ロスフィルタとすることが出来る。

5 光導波路の長手方向の位置によって偏角方向を変える方法として、まず偏角方向が変化しない傾斜型FGを作って、それを光導波路の長手方向に捻回させることによって、光導波路の長手方向に偏角方向を変える方法と、まず光導波路の一部を捻回させて、その捻回部分に偏角方向が変化しない傾斜型FGを形成し、その後捻回を元に戻して偏角方向を光導波路の長手方向に変化させる方法があるが、これらの製造方法は、いずれも従来技術による傾斜型FGの製造方法を大きく変更することなく適用が可能である。

10 また、光導波路の長手方向に偏角方向の変化しない傾斜型FGを複数個作って、それらを互いに偏角方向が異なるように光軸周りの回転角を変えて回転させて、互いに融着接続して1本の光導波路とすることによっても、本発明の長手方向に偏角方向が変化した光導波路型フィルタを形成することが出来るが、この方法によれば、光ファイバを光軸周りに捻回させる場合に比較して、偏角方向の変化をより大きくし、偏波依存性をより小さくした光導波路型フィルタを形成することが出来る。

15 更に、光導波路の長手方向に一部に偏角方向の変化しない周期的変動部を形成し、そこから長手方向に離れた箇所において光導波路を光軸周りに回転させて、前の周期的変動部の偏角方向とは異なる偏角方向を有する周期的変動部を形成し、このような操作を複数回繰り返すことによって、光導波路の長手方向に互いに偏角方向の異なる周期的変動部を複数箇所形成することで、長手方向に偏角方向が変化した光導波路型フィルタを形成することも出来るが、この方法は融着接続をすることなく、偏角方向のずれを大きくすることが可能であるので、極めて偏波依存性の小さい光導波路型フィルタを形成することが出来る。

25 また、本発明にかかる光導波路型フィルタを光ファイバ増幅器の回路中に挿入することによって、利得等化器として作用させ、大きな波長幅でスペクトル特性を平坦化することが出来る。

次に、本発明に従う第2の実施例について説明する。

以下に説明する本発明の更に別の実施例では、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

図14は、本発明に係る第2の実施例である光導波路型回折格子素子（傾斜型回折格子素子）100の説明図である。この図には、光軸を含む面で切断したときの断面図、および、光軸に垂直な面で切断したときの断面図が示されている。この図に示される本実施形態に係る傾斜型回折格子素子100は、光導波路である光ファイバ110の長手方向に沿って、 N （ N は2以上の整数）個の屈折率変調部（上記実施例の周期変動部に相当する） $113_1 \sim 113_N$ が形成されている。光ファイバ110は、石英ガラスをベースとするものであって、 GeO_2 が添加されたコア領域111と、このコア領域111を取り囲むクラッド領域12とを含む。

各屈折率変調部 113_n （ n は1以上 N 以下の任意の整数）について、屈折率が等位となる屈折率等位面を L_n と表し、屈折率等位面 L_n に垂直であって光ファイバ110の光軸（ x 軸）と交わる直線を A_n と表し、直線 A_n と光軸とがなす角度を θ_n と表し、直線 A_n と光軸とがなす偏角面を M_n と表す。

各屈折率変調部 113_n は、直線 A_n が光軸と平行でなく、直線 A_n と光軸とがなす角度 θ_n が0でない。すなわち、各屈折率変調部 113_n は、光軸に対して角度 θ_n だけ傾斜した直線 A_n に沿って周期 Λ_n の屈折率変調がコア領域111に形成されたものである。また、各屈折率変調部 113_n の偏角面 M_n は互いに一致していない。すなわち、 N 個の屈折率変調部 $113_1 \sim 113_N$ のうちの任意の2つの屈折率変調部 113_{n1} 、 113_{n2} を取り上げたときに、偏角面 M_{n1} と偏角面 M_{n2} とは一致していない。

N 個の屈折率変調部 $113_1 \sim 113_N$ のうちの何れか2つの屈折率変調部 113_{n1} 、 113_{n2} それぞれの形成領域は、互いに少なくとも一部が重なっている。図14では、例えば、屈折率変調部 113_1 の形成領域は、屈折率変調部 113_2 の形成領域と一部が重なっており、屈折率変調部 113_3 の形成領域とも一部が重な

っており、また、屈折率変調部 $113_1 \sim 113_N$ の形成領域とも一部が重なっている。また、 N 個の屈折率変調部 $113_1 \sim 113_N$ それぞれの形成領域は全て一致しているのが好適である。

5 このように、この別の実施例に係る傾斜型回折格子素子 100 では、 N 個の屈折率変調部 $113_1 \sim 113_N$ が形成されていて、各屈折率変調部 113_n の角度 θ_n が 0 でなく、各屈折率変調部 113_n の偏角面 M_n が互いに一致しておらず、何れか 2 つの屈折率変調部 $113_{n1}, 113_{n2}$ それぞれの形成領域が互いに少なくとも一部が重なっている。このように構成された傾斜型回折格子素子 100 は、短尺であって、偏波依存損失が低減されたものとなる。

10 また、 N 個の屈折率変調部 $113_1 \sim 113_N$ それぞれの偏角面 $M_1 \sim M_N$ は、光ファイバ 10 の光軸の回りに $180^\circ/N$ ずつずれているのが好適である。例えば、 $N=2$ であれば、偏角面 M_1 と偏角面 M_2 とは互いに直交している。また、例えば、 $N=3$ であれば、偏角面 $M_1 \sim M_3$ は光ファイバ 110 の光軸の回りに 60° ずつずれている。このように偏角面 $M_1 \sim M_N$ が配置されることにより、傾斜型回折格子素子 1 は、偏波依存損失が効率よく低減されたものとなる。

15 また、 N 個の屈折率変調部 $113_1 \sim 113_N$ それぞれは、直線 A_n と光軸とがなす角度 θ_n が互いに同一であり、光ファイバ 110 の長手方向に沿った形成領域の長さ D_n が互いに同一であり、屈折率変調周期が互いに同一であり、屈折率変調振幅が互いに同一であるのが好適である。このように各屈折率変調部 113_n が形成されることにより、傾斜型回折格子素子 1 は、偏波依存損失が効率よく低減されたものとなる。

20 そして、この第 2 の実施例に係る傾斜型回折格子素子 100 は、透過損失が最大となる波長において、偏波依存損失が透過損失最大値の $1/10$ 以下であるのが好適である。このような傾斜型回折格子素子 100 は、光通信の分野で偏波依存損失が小さいことが要求される光学装置（またはその一部）として好適に用いられ、例えば光ファイバ増幅器の利得を等化する利得等化器として好適に用いら

れ得る。

次に、この第2の実施例に係る光導波路型回折格子素子（傾斜型回折格子素子）100の製造方法について説明する。図15および図16A~16Dは、この第2の実施例に係る光導波路型回折格子素子製造方法を説明するための図である。図15は斜視図であり、図16A~16Dは光軸に垂直な面で切断したときの断面図である。

初めに、光ファイバ110、位相格子マスク120および光源130が用意される。光ファイバ110は、上述したように、石英ガラスをベースとするものであって、 GeO_2 が添加されたコア領域111と、このコア領域111を取り囲むクラッド領域112とを含むものである。位相格子マスク120は、石英ガラス平板の一方の面に周期 2Λ の溝状凹凸からなる位相格子が形成されたものである。光源130は、光ファイバ110のコア領域111の屈折率変化を誘起せしめる波長の光（以下「屈折率変化誘起光」という。）を出力するものであり、例えば、波長248nmのレーザ光を屈折率変化誘起光として出力するKrFエキシマレーザ光源が用いられる。

そして、図15に示されるように、位相格子マスク120は、光ファイバ110の側方に、位相格子が形成された面が光ファイバ110に対向するように配置される。また、このとき、位相格子マスク120の位相格子における溝方向は、光ファイバ110の光軸に垂直な面に対して角度 θ_1 だけ傾斜している。このように両者が配置された状態で、光源130から出力された屈折率変化誘起光UVは、位相格子マスク120に対して垂直に照射される。この屈折率変化誘起光UVの照射に伴い、位相格子マスク120の回折作用により+1次回折光と-1次回折光とが生じ、これら+1次回折光と-1次回折光とが互いに干渉して、周期 Λ の干渉縞が生じる。光ファイバ110の GeO_2 が添加されたコア領域111では、干渉縞の各位置における屈折率変化誘起光のエネルギーの大きさに応じて屈折率が上昇するので、これにより屈折率変調部113₁が形成される。この屈折率変

調部 1 1 3₁ は、屈折率等位面 L₁ に垂直であって光ファイバ 1 0 の光軸と交わる直線を A₁ としたときに、この直線 A₁ と光軸とがなす角度が θ_1 であり、直線 A₁ と光軸とがなす偏角面 M₁ が位相格子マスク 2 0 の面に平行である (図 1 5 および図 1 6 A 参照)。

5 このように図 1 6 A に示された配置状態で屈折率変化誘起光 UV が一定時間だけ照射されることで第 1 番目の屈折率変調部 1 1 3₁ が形成される。形成後、屈折率変化誘起光 UV の照射が中断され、その間に光ファイバ 1 1 0 が一定角度だけ光軸回りに回転されて、図 1 6 B に示された配置状態となる。そして、図 1 6 B に示された配置状態で屈折率変化誘起光 UV が一定時間だけ照射されることで第 10 2 番目の屈折率変調部 1 1 3₂ が形成される。このようにして形成された第 2 番目の屈折率変調部 1 1 3₂ は、屈折率等位面 L₂ に垂直であって光ファイバ 1 0 の光軸と交わる直線を A₂ としたときに、この直線 A₂ と光軸とがなす角度が θ_2 であり、直線 A₂ と光軸とがなす偏角面 M₂ が位相格子マスク 2 0 の面に平行である。第 2 番目の屈折率変調部 1 1 3₂ の偏角面 M₂ は、既に形成された第 1 番目の屈折率変調部 1 1 3₁ の偏角面 M₁ と一致していない。

15 さらに、第 2 番目の屈折率変調部 1 1 3₂ の形成後、屈折率変化誘起光 UV の照射が中断され、その間に光ファイバ 1 0 が一定角度だけ光軸回りに回転されて、図 1 6 C に示された配置状態となる。そして、図 1 6 C に示された配置状態で屈折率変化誘起光 UV が一定時間だけ照射されることで第 3 番目の屈折率変調部 1 1 3₃ が形成される。このようにして形成された第 3 番目の屈折率変調部 1 1 3₃ は、屈折率等位面 L₃ に垂直であって光ファイバ 1 1 0 の光軸と交わる直線を A₃ としたときに、この直線 A₃ と光軸とがなす角度が θ_3 であり、直線 A₃ と光軸とがなす偏角面 M₃ が位相格子マスク 1 2 0 の面に平行である。第 3 番目の屈折率変調部 1 1 3₃ の偏角面 M₃ は、既に形成された第 1 番目の屈折率変調部 1 1 3₁ の偏角面 M₁ と一致しておらず、また、既に形成された第 2 番目の屈折率変調部 1 1 3₂ の偏角面 M₂ と一致していない。

以降も同様にして、第4番目～第N番目の屈折率変調部 $113_4 \sim 113_N$ が順次に形成される。第N番目の屈折率変調部 113_N の形成の際には、図16Dに示された配置状態で屈折率変化誘起光UVが一定時間だけ照射されることで第N番目の屈折率変調部 113_N が形成される。このようにして形成された第N番目の屈折率変調部 113_N は、屈折率等位面 L_N に垂直であって光ファイバ110の光軸と交わる直線を A_N としたときに、この直線 A_N と光軸とがなす角度が θ_N であり、直線 A_N と光軸とがなす偏角面 M_N が位相格子マスク120の面に平行である。第N番目の屈折率変調部 113_N の偏角面 M_N は、既に形成された第1番目～第(N-1)番目の屈折率変調部 $113_1 \sim 113_{N-1}$ の偏角面 $M_1 \sim M_{N-1}$ の何れとも一致していない。

なお、位相格子マスク120が位置固定のままであれば各 θ_n は全て同一値であるが、位相格子マスク120がその面上で回転されることにより各 θ_n は異なるものとすることができる。また、1つの位相格子マスク20が用いられれば、各屈折率変調部 113_n において直線 A_n に沿った屈折率変調周期は全て同一値であるが、異なる位相格子周期の位相格子マスクに交換されることで、各屈折率変調部 113_n において直線 A_n に沿った屈折率変調周期は異なるものとすることができる。

このように、第2の実施例に係る光導波路型回折格子素子製造方法では、N個の屈折率変調部 $113_1 \sim 113_N$ は、光ファイバ110の長手方向に沿って、屈折率等位面 L_n に垂直な直線 A_n が光ファイバ110の光軸と平行とならない（すなわち角度 $\theta_n \neq 0$ となる）ようにして順次に形成される。また、第n番目の屈折率変調部 113_n を形成する際に、その偏角面 M_n が、既に形成された第1番目～第(n-1)番目の屈折率変調部 $113_1 \sim 113_{n-1}$ それぞれの偏角面 $M_1 \sim M_{n-1}$ の何れとも一致しないようにされる。さらに、N個の屈折率変調部 $113_1 \sim 113_N$ のうちの何れか2つの屈折率変調部それぞれの形成領域が互いに少なくとも一部が重なるように形成される。このようにして、本実施形態に係る傾斜型回折格

子素子1が製造される。

特に、第 $(n-1)$ 番目の屈折率変調部113_{n-1}が形成された後に、光ファイバ110が一定角度 $180/N$ だけ光軸回りに回転されて、第 n 番目の屈折率変調部113_nが形成されるのが好適である。このようにして製造される傾斜型回折格子素子100は、 N 個の屈折率変調部113₁~113_Nそれぞれの偏角面 M_1 ~ M_N が光ファイバ110の光軸の回りに $180度/N$ ずつずれているので、偏波依存損失が効率よく低減されたものとなる。

また、各屈折率変調部113_nを形成する際に、屈折率等位面 L_n に垂直な直線 A_n と光ファイバ110の光軸とがなす角度 A_n を互いに同一にし、光ファイバ110の長手方向に沿った形成領域の長さ D_n を互いに同一し、屈折率変調周期を互いに同一にし、屈折率変調振幅を互いに同一にするのが好適である。このようにして製造される傾斜型回折格子素子100は、偏波依存損失が効率よく低減されたものとなる。

また、各屈折率変調部113_nを形成する際に、製造途中の傾斜型回折格子素子100の透過損失または偏波依存損失をモニタするのが好適である。このようにすることで、製造される傾斜型回折格子素子100は、偏波依存損失が効率よく低減されたものとなる。

次に、第2の実施例に係る光導波路型回折格子素子（傾斜型回折格子素子）100およびその製造方法の実施例について説明する。本実施例では、光ファイバ110は、コア領域111だけでなくクラッド領域112にも GeO_2 が添加されたものであった。位相格子マスク120は、一定周期ではなく、溝方向に垂直な方向に沿って周期が次第に変化していて、中心周期が $1.0650\mu m$ であり、周期変化率が $10.0nm/cm$ であった。光源130は、波長 $248nm$ のレーザ光を屈折率変化誘起光として出力する KrF エキシマレーザ光源が用いられた。

そして、製造された第2の実施例の傾斜型回折格子素子100は、2つの屈折

率変調部 113_1 , 113_2 を有するものであった。2つの屈折率変調部 113_1 , 113_2 それぞれは、形成領域の長さが5 mmであり、互いに全く重ねられて形成された。屈折率変調部 113_1 の偏角面 M_1 と屈折率変調部 113_2 の偏角面 M_2 とは互いに直交するものであった。

5 第2の実施例の製造方法では、初めに第1番目の屈折率変調部 113_1 が形成され、その後、屈折率変化誘起光UVの照射が中断されている間に光ファイバ110が90°だけ光軸回りに回転されて、続いて第2番目の屈折率変調部 113_2 が形成された。また、2つの屈折率変調部 113_1 , 113_2 それぞれの形成の際に、製造途中の傾斜型回折格子素子1の透過損失がモニタされた。

10 第2の実施例では、透過損失が最大となる波長における透過損失の目標値は1 dBとされた。そして、第1番目の屈折率変調部 113_1 の形成の際には、モニタされた透過損失が目標値の1/2 (0.5 dB) となった時点で、屈折率変化誘起光UVの照射が中断された。また、続く第2番目の屈折率変調部 113_2 の形成の際には、モニタされた透過損失が目標値 (1 dB) となった時点で、屈折率変化誘起光UVの照射が終了された。図17Aは、第1番目の屈折率変調部 113_1 の形成終了時点での透過特性を示す図であり、図17Bは、第2番目の屈折率変調部 113_2 の形成終了時点での透過特性を示す図である。この図に示されるように、本実施例の傾斜型回折格子素子100の透過損失の最大値は、第1番目の屈折率変調部 113_1 の形成終了時点では0.5 dBであり、第2番目の屈折率変調部 113_2 の形成終了時点では1.0 dBであった。

図18Aは、第2の実施例の傾斜型回折格子素子の透過特性を示す図であり、図18Bは、第2の実施例の傾斜型回折格子素子の偏波依存損失特性を示す図である。また、

図19Aは、比較例の傾斜型回折格子素子の透過特性を示す図であり、図19Bは、比較例の傾斜型回折格子素子の偏波依存損失特性を示す図である。ここで、比較例の傾斜型回折格子素子は、重ね書きされることなく1つの屈折率変調部の

みを有するものであった。

図18Aと図19Aとを比較して判るように、第2の実施例の傾斜型回折格子素子および比較例の傾斜型回折格子素子それぞれは、透過スペクトルの形状が互いに似ており、何れも透過損失の最大値が0.6 dB程度であった。しかし、図18Bと図19Bとを比較して判るように、比較例の傾斜型回折格子素子の偏波依存損失の最大値は0.125 dB程度であるのに対して、本実施例の傾斜型回折格子素子の偏波依存損失の最大値は0.03 dB程度であった。本実施例の傾斜型回折格子素子の偏波依存損失の最大値は、比較例の傾斜型回折格子素子の偏波依存損失の最大値と比較して約1/4であり、また、本実施例の傾斜型回折格子素子の透過損失の最大値と比較して約1/20であった。

図20は、第5の実施例に係る光導波路型回折格子素子（傾斜型回折格子素子）200の説明図である。この図には、光軸を含む面で切断したときの断面図、および、光軸に垂直な面で切断したときの断面図が示されている。この図に示される本実施形態に係る傾斜型回折格子素子200は、光導波路である光ファイバ20の長手方向に沿って、 N （ N は2以上の整数）個の屈折率変調部230₁～230_Nが形成されている。光ファイバ20は、石英ガラスをベースとするものであって、 GeO_2 が添加されたコア領域210と、このコア領域210を取り囲むクラッド領域220とを含む。

各屈折率変調部230_n（ n は1以上 N 以下の任意の整数）について、屈折率が等位となる屈折率等位面を L_n と表し、屈折率等位面 L_n に垂直であって光ファイバ20の光軸（ x 軸）と交わる直線を A_n と表し、直線 A_n と光軸とがなす角度を θ_n と表し、直線 A_n と光軸とがなす偏角面を M_n と表す。各屈折率変調部230_nの形成領域、屈折率等位面 L_n 、直線 A_n および角度 θ_n それぞれに関しては、既に説明したとおりである。

この傾斜型回折格子素子200は、各屈折率変調部230_nの偏角面 M_n が光軸の周りに360度/ N ずつずれている点に特徴を有する。なお、図では、 $N=4$ としている。この場合、偏角面が互いに180度だけ異なる屈折率変調部230₁、230₃それぞれが有する非軸対称性に因る複屈折性が相殺され、また、偏角面が互いに180度だけ異な

る屈折率変調部 230_2 , 230_4 それぞれが有する非軸対称性に因る複屈折性が相殺されるので、このことによっても、光導波路型回折格子素子 20 は、更に偏波依存損失が効率よく低減されたものとなる。なお、ここで言う非軸対称性とは、光ファイバ 200 に対して屈折率変化誘起光が照射されて形成された屈折率変調部 230_1 において、
5 屈折率変化誘起光の入射側において屈折率上昇が大きくなっていることを言う。そこで、光ファイバ 200 に対して屈折率変化誘起光が互いに逆の方向それぞれから照射されて屈折率変調部 230_1 , 230_3 が形成されることにより、各々の非軸対称性に因る複屈折性が相殺される。

この傾斜型回折格子素子 2 も、透過損失が最大となる波長において、偏波依存損失が
10 透過損失最大値の $1/10$ 以下であるのが好適である。このような傾斜型回折格子素子 20 も、光通信の分野で偏波依存損失が小さいことが要求される光学装置（またはその一部）として好適に用いられ、例えば光ファイバ増幅器の利得を等化する利得等化器として好適に用いられ得る。

図 $21A$, $21B$, $22A$, $22B$, $23A$ 及び $23B$ それぞれは、3種類の傾斜型回折格子素子の透過
15 率 T および偏波依存損失 $PD L$ それぞれの波長依存性を示すグラフである。図 $21A$ 及び $21B$ は、1方向のみから屈折率変化誘起光が照射されて1つの屈折率変調部が形成された傾斜型回折格子素子について示す。図 $22A$ 及び $22B$ は、互いに 90 度だけ異なる2方向から屈折率変化誘起光が照射されて2つの屈折率変調部が形成された傾斜型回折格子素子 10 について示す。図 $23A$ 及び $23B$ は、互いに 90 度ずつ異なる4方向から屈折率変化誘起光が照射されて4つの屈折率変調部が形成された傾斜型回折格子素子 2 について示す。
20

傾斜型回折格子素子 100 および傾斜型回折格子素子 200 それぞれでは、各屈折率変調部は重ねて形成された。

図 $21A$, 図 $22A$ および図 $23A$ を比較して判るように、3種類の傾斜型回折格子
25 素子それぞれの透過率 T の波長依存性は略同様のものであった。一方、図 $21B$, 図 $22B$ および図 $23B$ を比較して判るように、1つの屈折率変調部が形成された傾斜型回折格

子素子の偏波依存損失PDLは0.127 dBにも達したのに対して、傾斜型回折格子素子1の偏波依存損失PDLは0.023 dBと小さく、傾斜型回折格子素子2の偏波依存損失PDLは0.016 dBと更に小さかった。

- 5 以上、詳細に説明したとおり、本発明に従う上記光導波回折格子素子によれば、
N（Nは2以上の整数）個の屈折率変調部が形成されていて、各屈折率変調部の屈折率等位面に垂直な直線が光導波路の光軸と平行でなく、各屈折率変調部の偏角面が互いに一致しておらず、何れか2つの屈折率変調部それぞれの形成領域が互いに少なくとも一部が重なっている場合には、導波路型回折格子素子は、短尺とすることが可能であり、また、偏波依存損失の低減が実現できる。

請求の範囲

1. 光導波路の長手方向の一部に屈折率変調部である周期的変動部を設けた光導波路型フィルタにおいて、該周期的変動部の等位面に対する垂直な直線が前記光導波路の光軸に対して傾きをもっており、該光導波路を捻回を与えずに直線状にしたとき、前記周期変動部中の光軸上の任意の点を通る直線であってかつ前記任意の点を通る等位面に対して垂直な直線と前記光軸とがなす平面は、光導波路の前記任意の点の長手方向の位置によって同一平面でない箇所があることを特徴とする光導波路型フィルタ。

2. 前記平面は、光導波路の長手方向に対して光軸周りに回転している部分を有することを特徴とする請求項1に記載の光導波路型フィルタ。

3. 前記周期的変動部は光導波路の長手方向に複数の群に分かれており、各群内においては前記平面は同一平面であり、ある群と別の群との間では前記平面は同一平面でないことを特徴とする請求項1に記載の光導波路型フィルタ。

4. 前記周期的変動部は光導波路の長手方向にN個の群に分かれており、各群の前記平面は光軸の周りに $90^\circ / (N - 1)$ ずつずれていることを特徴とする請求項3に記載の光導波路型フィルタ。

5. 光導波路の長手方向の一部に周期的変動部を設けた光導波路型フィルタの製造方法において、該周期的変動部の等位面に対する垂直な直線が前記光導波路の光軸に対して傾きをもつように、かつ前記光軸上の任意の点を通る直線であってかつ前記等位面に対して垂直な直線と前記光軸とがなす平面が同一平面となるように光導波路に周期的変動部を形成し、その後該光導波路の周期的変動部を形成した部分を長手方向に光軸周りに捻回させて該捻回が戻らないように固定することを特徴とする光導波路型フィルタの製造方法。

6. 前記光導波路の長手方向に光軸周りに捻回させるに際し、該光導波路の偏波依存損失をモニターしながら該捻回を行い、偏波依存損失が最小になったところで光導波路の捻回が戻らないように固定することを特徴とする請求項5に記載の

光導波路型フィルタの製造方法。

7. 光導波路の長手方向の一部に周期的変動部を設けた光導波路型フィルタの製造方法において、光導波路の一部を長手方向に光軸周りに捻回させて、該捻回した光導波路に対して、周期的変動部に対して垂直な直線が前記光導波路の光軸に対して傾きをもつように、かつ前記光軸上の任意の点を通る直線であってかつ前記等位面に対して垂直な直線と前記光軸とがなす平面が同一平面となるように該光導波路の一部に周期的変動部を形成し、その後該光導波路の捻回を元に戻すことを特徴とする光導波路型フィルタの製造方法。

8. 少なくともエルビウムドープ光ファイバと励起レーザ光源とを含む光ファイバ増幅器において、光導波路の長手方向の一部に周期的変動部を設け、該周期的変動部の等位面に対して垂直な直線が前記光導波路の光軸に対して傾きをもっており、該光導波路を捻回を与えずに直線状にしたとき、前記周期的変動部中の光軸上の任意の点を通る直線であってかつ前記任意の点を通る等位面に対して垂直な直線と前記光軸とがなす平面が、光ファイバの前記任意の点の長手方向の位置によって同一平面でない部分を有する光導波路型フィルタを、利得等化器として増幅器回路中に挿入したことを特徴とする光ファイバ増幅器。

9. 光導波路の長手方向に沿って N (N は2以上の整数) 個の屈折率変調部が形成されており、

前記 N 個の屈折率変調部それぞれの屈折率等位面に垂直な直線が前記光導波路の光軸と平行でなく、

前記 N 個の屈折率変調部それぞれの屈折率等位面に垂直な直線と前記光導波路の光軸とがなす偏角面が互いに一致しておらず、

前記 N 個の屈折率変調部のうちの何れか2つの屈折率変調部それぞれの形成領域が互いに少なくとも一部が重なっている

ことを特徴とする光導波路型回折格子素子。

10. 前記 N 個の屈折率変調部それぞれの偏角面が前記光導波路の光軸の回りに

180度/Nずつずれていることを特徴とする請求項9記載の光導波路型回折格子素子。

11. 前記N個の屈折率変調部それぞれは、屈折率等位面に垂直な直線と前記光導波路の光軸とがなす角度が互いに同一であり、前記光導波路の長手方向に沿った形成領域の長さが互いに同一であり、屈折率変調周期が互いに同一であり、屈折率変調振幅が互いに同一であることを特徴とする請求項9記載の光導波路型回折格子素子。

12. 透過損失が最大となる波長において偏波依存損失が透過損失最大値の1/10以下であることを特徴とする請求項9記載の光導波路型回折格子素子。

13. 光導波路の長手方向に沿ってN(Nは2以上の整数)個の屈折率変調部を、屈折率等位面に垂直な直線が前記光導波路の光軸と平行とならないようにして順次に形成するとともに、

第n(nは2以上N以下の整数)番目の屈折率変調部を形成する際に、屈折率等位面に垂直な直線と前記光導波路の光軸とがなす偏角面が、既に形成した第1番目～第(n-1)番目の屈折率変調部それぞれの偏角面の何れとも一致しないようにし、

前記N個の屈折率変調部のうちの何れか2つの屈折率変調部それぞれの形成領域が互いに少なくとも一部が重なるようにして、

光導波路型回折格子素子を製造することを特徴とする光導波路型回折格子素子製造方法。

14. 前記N個の屈折率変調部それぞれの偏角面を前記光導波路の光軸の回りに180度/Nずつずらすことを特徴とする請求項13記載の光導波路型回折格子素子製造方法。

15. 前記N個の屈折率変調部それぞれを形成する際に、屈折率等位面に垂直な直線と前記光導波路の光軸とがなす角度を互いに同一にし、前記光導波路の長手方向に沿った形成領域の長さを互いに同一し、屈折率変調周期を互いに同一にし、

屈折率変調振幅を互いに同一にすることを特徴とする請求項 1 3 記載の光導波路型回折格子素子製造方法。

1 6 . 透過損失をモニタしながら前記 N 個の屈折率変調部それぞれを形成することを特徴とする請求項 1 3 記載の光導波路型回折格子素子製造方法。

5 1 7 . 偏波依存損失をモニタしながら前記 N 個の屈折率変調部それぞれを形成することを特徴とする請求項 1 3 記載の光導波路型回折格子素子製造方法。

1 8 . 前記 N 個の屈折率変調部それぞれの偏角面が前記光導波路の光軸の回りに 3 6 0 度 / N ずつずれていることを特徴とする請求項 9 記載の光導波路型回折格子素子。

10 1 9 . 前記周期的変動部は光導波路の長手方向に N 個の群に分かれており、各群の前記平面は光軸の周りに 9 0 度ずつずれていることを特徴とする請求項 1 に記載の光導波路型フィルタ。

開示内容の要約

本発明は、光ファイバ等の光導波路の長手方向の一部に屈折率変調部となる周期的変動部を設け、この周期的変動部の等位面に対して垂直な直線が光導波路の光軸Xに対して傾きをもつようにし、捻回等の方法により、この光軸Xとそれに交差するこの直線Aとがなす平面即ち偏角面Mが光導波路の長手方向の位置によって同一平面でない部分を

5 含むようにする。それによって、光導波路の長手方向に偏角方向Yを変えて、偏角方向の偏波と偏角方向に対して垂直方向の偏波とが光導波路の長手方向に打ち消し合うようにして、偏波依存性の小さい光導波路型フィルタを提供する。